

Sini Tamminen

**TAIPUNEIDEN ALUMIINIKATODIEN VAIKUTUS SINKIN KASVU-
OLOSUHTEISIIN ELEKTROLYYSISSÄ**

TAIPUNEIDEN ALUMIINIKATODIEN VAIKUTUS SINKIN KASVU- OLOSUHTEISIIN ELEKTROLYYSISSÄ

Sini Tamminen
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikka

Tekijä(t): Sini Tamminen

Opinnäytetyön nimi: Taipuneiden alumiinikatodien vaikutus sinkin kasvuolosuhteisiin elektrolyysissä

Työn ohjaaja(t): Jukka Ylikunnari, Janne Vanhala Boliden Kokkola Oy

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018

Sivumäärä: 27 + 1 liite

Työn tavoitteena oli selvittää, minkälaisia vaikutuksia taipuneilla alumiinikatodeilla on sinkin kasvuolosuhteisiin elektrolyysissä. Taipuneiden katodien oletettiin vaikuttavan energian kulutukseen, virtahyötysuhteeseen ja tuotannon määrään.

Taipuneiden katodien vaikutusten osoittamiseksi suoritettiin kokeita ja kokeiden tulosten analysoimisen pohjalta laadittiin ehdotus siitä, millä tavalla vioittuneita katodeja voitaisiin poistaa prosessista. Kokeiden avulla selvitettiin taipuneiden katodien vaikutusta välivirtakiskojen lämpötilaan, sakkautuneen sinkin määrään ja saadun sinkin ominaisuuksiin.

Kokeet osoittivat taipuneiden katodien pienentävän sakkautuneen sinkin määrää ja nostavan välivirtakiskojen lämpötilaa. Kokeiden lisäksi työssä arvioitiin sopivaa tapaa poistaa taipuneet katodit kierrosta.

Asiasanat: elektrolyysi, virtahyötysuhde, virtakisko

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 BOLIDEN KOKKOLA OY	6
3 SINKIN TUOTANTO KOKKOLAN TEHTAALLA	8
3.1 Tuotantoprosessi	8
3.2 Elektrolyyisin prosessin tehokkuus	9
3.2.1 Virtahyötysuhde	10
3.2.2 Anodinvaihto	10
3.2.3 Allashuolto	10
3.2.4 Sinkin ominaisuudet ja kiinnittyminen	11
4 TAIPUNEET KATODIT ELEKTROLYYSISSÄ	12
4.1 Vioittuneiden katodien poistaminen prosessista tällä hetkellä	12
4.2 Vioittumisen syyt	14
4.3 Kokeen suunnittelu, rajausta ja tavoite	15
4.4 Menetelmät ja välineet	16
5 KOKEEN TULOKSET	19
5.1 Virtakiskon lämpötila	19
5.2 Sinkin ominaisuudet	20
5.3 Eristinkosketus	22
5.4 Sinkkien painot	22
5.5 Virtahyötysuhde	24
5.6 Virhearviointi	24
6 YHTEENVETO	25
LÄHTEET	26

Liite 1 Mittauspöytäkirja

1 JOHDANTO

Insinööriyön taustalla on oma kokemukseni elektrolyysistä ja irrotuksesta. Kierrossa on paljon taipuneita ja muilla tavoin vaurioituneita katodeja, joiden yhteyttä tiettyihin prosessissa havaittaviin ongelmiin pohdittiin työni ohjaajan kanssa. Altailla työskenneltäessä voidaan huomata joidenkin altainen ja tiettyjen kohtien ”käyvän kuumana” eli virtakisko on tarpeettoman lämmin mikä viittaa ongelmiin virran kulussa virtapiirissä. Irrotuskoneella ruuhkia purettaessa voidaan huomata joidenkin katodisinkkien olevan toisia kevyempiä. Insinööriyöni pohja on siis vahvasti kokemusperäisissä havainnoissa, ja työn tarkoituksena on kokeellisesti tutkia, löytyykö asioiden välillä yhteyttä.

Työn tavoitteena on selvittää, minkälaisia vaikutuksia taipuneilla alumiinikatodeilla on sinkin kasvuolosuhteisiin elektrolyysissä. Vaikutuksia tutkittiin kokeilla ja kokeiden tulosten analysoimisen pohjalta laadittiin ehdotus siitä, millä tavalla vioittuneita katodeja voitaisiin poistaa prosessista. Niko Heinola on pohtinut opinnäytetyössään ”Katodien paksuuden mittaaminen sinkin irrotuskoneella” (2014) menetelmiä katodien paksuuden mittaamiseen eri menetelmillä. Tavoitteenani on hyödyntää tätä tietoa ehdotukseni pohjana.

2 BOLIDEN KOKKOLA OY

Boliden Kokkola Oy on osa ruotsalaista Boliden-konsernia, joka on yksi maailman johtavista kaivos- ja sulattoyhtiöistä. Konsernin tytäryhtiöiden päätuotteita ovat sinkki ja kupari minkä lisäksi yhtiö tuottaa myös kultaa, hopeaa ja lyijyä. Bolidenilla on tuotantolaitoksia Suomessa, Ruotsissa, Norjassa ja Irlannissa. Opinnäytetyö kohdistuu Boliden Kokkola Oy:n sinkkitehtaan elektrolyysiosastolle, jossa sinkki erotetaan sinkkisulfaattiliuoksesta sähkövirran avulla.

Kokkolan tuotantolaitoksen päätuotteina ovat puhdas sinkki ja erilaiset sinkkiseokset. Boliden Kokkola on Euroopan toiseksi suurin sinkkitehdas, jossa sinkin tuotanto on aloitettu vuonna 1969 silloin osana Outokumpu Oyj:tä. Boliden osti vuonna 2004 Harjavallan kuparisulaton, Kokkolan sinkkisulaton sekä Porin tehtaiden kuparielektrolyyttiyksikön Outokummulta. (1.) Kuvassa 1 on Boliden Kokkola Oy:n sinkkisulatto Kokkolan teollisuusalueella (2).



KUVA 1. Boliden Kokkola Oy:n sinkkisulatto (2)

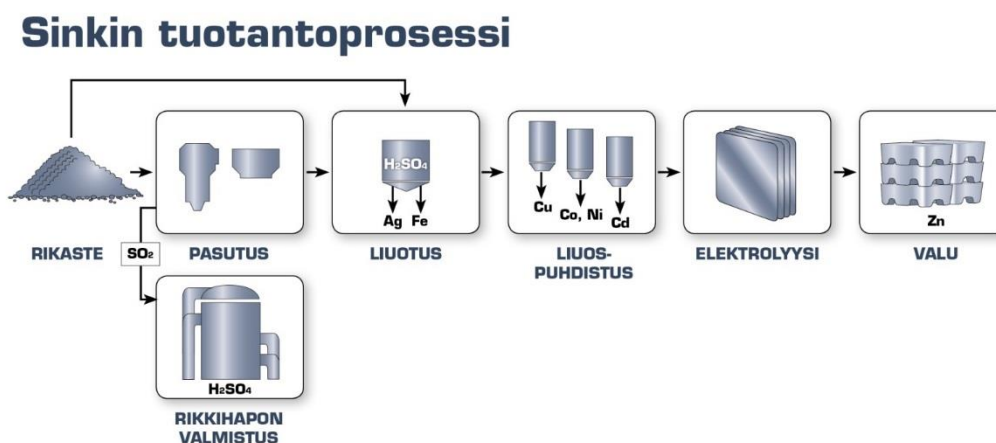
Boliden Kokkolan päätuotteet ovat puhdas sinkki ja sinkitystuotteet. Tehtaan tuotantokapasiteetti on 315 000 tonnia vuodessa, tuotannosta vientiin menee 85 %, josta suurin osa suuntautuu teräs-, rakennus- ja autoteollisuuden käyttöön

Euroopassa. Osa tuotannosta suuntautuu myös kappalekuumasinkitykseen ja paristojen valmistukseen. Boliden Kokkolan palveluksessa työskentelee 550 henkilöä, joista 80 % on miehiä ja 20 % on naisia. Boliden Kokkola on alueen suurin yksityinen työnantaja. (3.)

3 SINKIN TUOTANTO KOKKOLAN TEHTAALLA

3.1 Tuotantoprosessi

Sinkkisulaton prosessin päävaiheet ovat rikasteen sulatus, suoraliuotus ja pasutteen liuotus sekä liuospuhdistus, sinkin elektrolyysiin perustuva saostus sekä sinkin irrotus ja valu. Kuvassa 2 on kuvattuna Boliden Kokkolan prosessin päävaiheet. (2.)



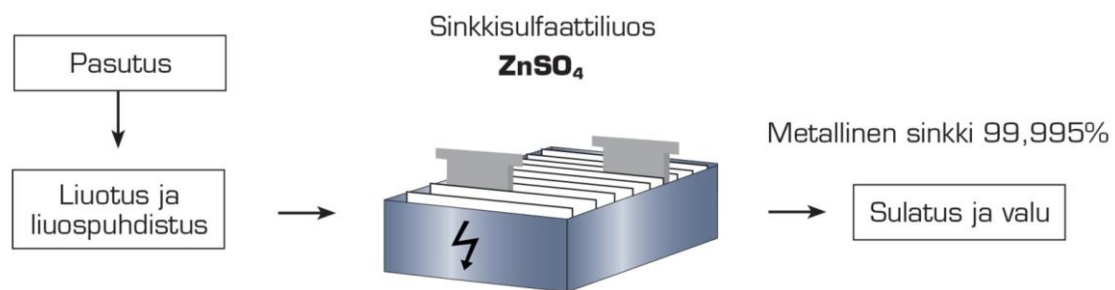
KUVA 2. Prosessin päävaiheet (2)

Tuotantoprosessin ensimmäisessä vaiheessa tehtaalte saapunut sinkkirikaste pasutetaan uunissa 950 °C:ssa. Pasutusprosessin lopputuotteena syntyy sinkkioksidia eli pasutetta. Pasutuksen sivutuotteena syntyy rikkidioksidipitoista kaasua, jonka sisältämä lämpö otetaan talteen höyrynä ja hyödynnetään prosessin muissa vaiheissa. Jäähtynyt rikkidioksidi johdetaan happotehtaalte, jossa se hyödynnetään rikkihapon raaka-aineena.

Pasutuksessa syntynyt pasute eli sinkkioksidi ja suoraliuotusmenetelmällä käsiteltävä rikaste liuotetaan rikkihappoliuoksessa. Rikkihappoliuos on elektrolyysistä palaavaa paluuhappoa, joka on köyhtynyt prosessin kuluessa. Liuotuksessa poistetaan aineita, kuten rautaa ja liuennite epäpuhtauksia,

kolmivaiheisessa prosessissa. Liuospuhdistuksen jälkeen sinkkisulfaattiliuos jäähdytetään ja pumpataan elektrolyysiin.

Elektrolyysiosaston tavoitteena on saavuttaa turvallisesti tuotantotavoitteen mukainen määrä katodisinkkiä. Elektrolyysissä sinkki saostuu sähkövirran avulla liuoksesta alumiinilevyjen eli katodien pinnalle. Sinkkilevyt kasvavat altaissa noin 36 tuntia, jolloin katodille saostuu noin 35 kiloa puhdasta sinkkiä. Kuvassa 3 on elektrolyysin prosessin osat, joiden avulla tuotetaan katodisinkkiä. (1.)



KUVA 3. Elektrolyysin prosessi (2)

Tämän jälkeen katodilevyt sinkkeineen nostetaan altaista ja ajetaan irrotuskoneille, jossa sinkit irrotetaan katodeista. Irrotuksen jälkeen katodilevyt palautetaan altaisiin.

Elektrolyysistä saadut sinkkilevyt sulatetaan induktiouuneissa valimossa. Sulatettu sinkki valetaan asiakkaan toiveiden mukaisesti joko 25 kilon harkoiksi tai sinkkijumboiksi. Tuotteisiin voidaan myös seostaa alumiinia tai muita metalleja asiakkaan tarpeiden mukaan. Valimon lopputuotteena on myyntivalmis sinkki.

3.2 Elektrolyysin prosessin tehokkuus

Elektrolyysin prosessin tehokkuutta arvioidaan erilaisin tunnusluvuin. Tunnusluvut kertovat, kuinka hyvin tuotantokapasiteetti on hyödynnetty. Tunnusluvut perustuvat mm. käytetyn energian, paluuliuoksen sinkkipitoisuuden ja päivittäisen tuotannon määriin. Opinnäytetyön kannalta merkittäviä, päivittäin tarkkailtavia tunnuslukuja esitellään seuraavana.

3.2.1 Virtahyötysuhde

Virtahyötysuhde on yksi tärkeimmistä elektrolyysin tunnusluvuista. Virtahyötysuhde kuvaa, kuinka paljon käytetystä virrasta on kulunut haluttuun katodireaktioon eli sinkin saostamiseen. (4.) Teoreettinen maksimituotanto lasketaan maksimivirran, käytössä olleiden altaiden määrän, sinkin kasvuajan ja yhden sinkkikilon saostumiseen vaadittavien kiloampeerituntien avulla. Toteutunut tuotanto lasketaan toteutuneilla arvoilla eli laskenta-aikana toteutuneella virralla, käytössä olleilla altailla, toteutuneella sinkin kasvuajalla ja sinkkikilon saostumiseen vaadittavien kiloampeerituntien määrällä. Virtahyötysuhde lasketaan kaavan 1 mukaisesti. (5.)

$$VHS = \frac{\text{toteutunut tuotanto}}{\text{teoreettinen maksimituotanto}} * 100\% \quad \text{KAAVA 1}$$

Virtahyötysuhteen laskenta on sinkkisulatolla automatisoitu, joten tätä tietoa tarvitsevat henkilöt saavat ajantasaisen tiedon tarvittaessa tehtaan omista järjestelmistä. Kasvuajan tavoitteena voidaan pitää 35:tä tuntia, jolla päästään noin 230 kiertoon vuodessa allasta kohden.

3.2.2 Anodinvaihto

Anodinvaihdon tavoitteena on varmistaa, että altaissa on hyväkuntoisia ja ehjiä anodeja, jotta sinkki saostuisi katodien pintaan tasaisesti. Huonot, esimerkiksi katkenneet, anodit laskevat saadun sinkin määrää katodilla ja huonontavat virtahyötysuhdetta. (2.) Anodinvaihtoja suoritetaan aikataulun mukaisesti, jolloin anodit pestään ja kunnoltaan huonot anodit vaihdetaan uusiin.

3.2.3 Allashuolto

Allashuoltojen tarkoituksena on poistaa altaisiin kertynyttä sakkaa, joka pienentää altaan liuostilavuutta. Mikäli altaissa on suuria määriä sakkaa, voi se kannatella altaaseen laskettavia katodeja, minkä seurauksena katodit eivät asetu virtakiskoa vasten ja osaksi virtapiiriä. Jos automaattiprosessi siirtyy nostamaan seuraavaa erää katodeja altaasta, voi seurauksena olla oikosulku, joka pahimmillaan johtaa tuotantolaitteiden vioittumiseen ja prosessin keskeytymiseen. Allashuoltoajkoja seurataan ja toteutetaan aikataulun

mukaisesti sekä tarpeen vaatiessa useammin. Mikäli allasrivinhoitajat huomaavat altaan tai riviparin toiminnassa ongelmia, voidaan allashuoltoja tehdä erikseen sitä vaativille rivipareille.

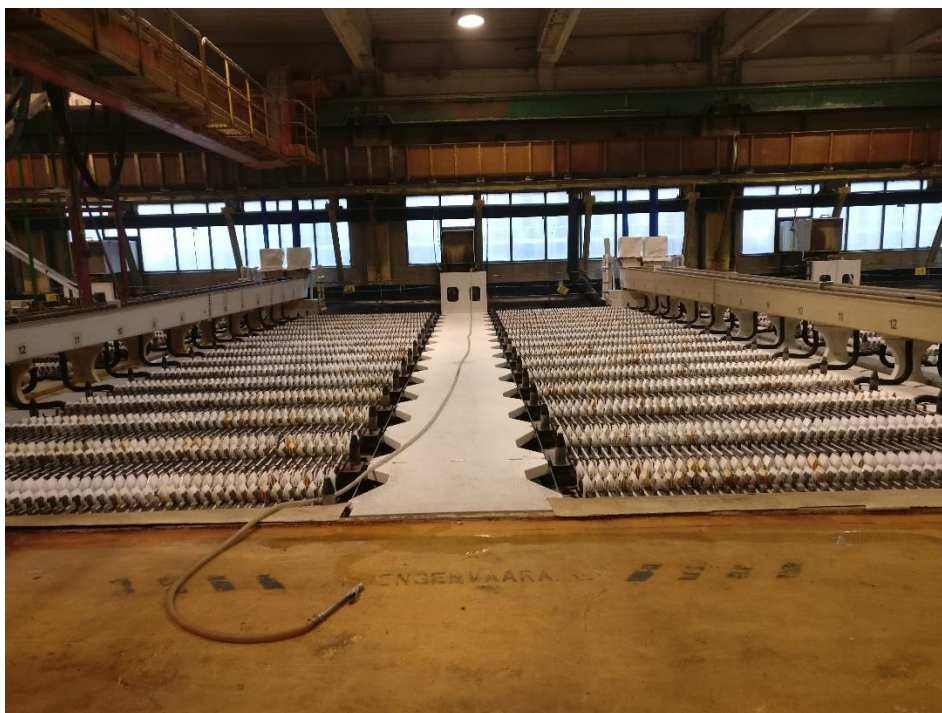
3.2.4 Sinkin ominaisuudet ja kiinnittyminen

Hyvä katodisinkki on pinnaltaan tasainen ja kauttaaltaan samanvärisen. Katodisinkin pinnassa voi esiintyä dendriittikasvua, joka johtuu epätasaisesta virranjakaumasta katodilevyllä. Virranjakautaan vaikuttaa katodien muoto, anodien sijoittelu suhteessa katodeihin ja katodin ja anodin välinen etäisyys. Virta kulkee liuoksessa aina lyhintä reittiä, minkä vuoksi lähelle anodia saostuu enemmän sinkkiä kuin kauemmaksi anodista.

Hyvin kiinnittynyt katodisinkki ei irrotettaessa putoa yläreunan avauksen myötä vaan on kiinni vielä, kun sinkkiä ryhdytään irrottamaan levyn pinnasta. Kiinnipalanut sinkki ei irtoa katodilevyn pinnasta yhtenä levynä vaan teräväreunaisina soiroina, jotka jäävät irrotuskoneisiin kiinni ja lisäävät käsin tehtävää työtä. Kiinnipalanut sinkki voi olla myös kiinni vain alareunastaan, jolloin se muodostaa ns. perhoslevyn. Perhoslevyjen ja soirojen poistaminen irrotuskoneesta on aina käsityötä. Tällaisissa tilanteissa on myös työtapaturman riski, sillä työasennot ovat huonoja, katodisinkki voi liikkua yllättävään suuntaan ja olla reunoiltaan terävää.

4 TAIPUNEET KATODIT ELEKTROLYYSISSÄ

Elektrolyysiosasto tuottaa sinkkiä 56 riviparilla, joissa jokaisessa on 15 allasta. Jokaisessa altaassa on 44 katodia ja 45 anodia vakiovälein, joten prosessissa kiertää 36 960 alumiinikatodia. Anodit ja katodit sijaitsevat altaissa 75 mm päässä toisistaan. Kuvassa 4 on rivipari, jolla kokeet suoritettiin.



KUVA 4. Koerivipari 33 - 34

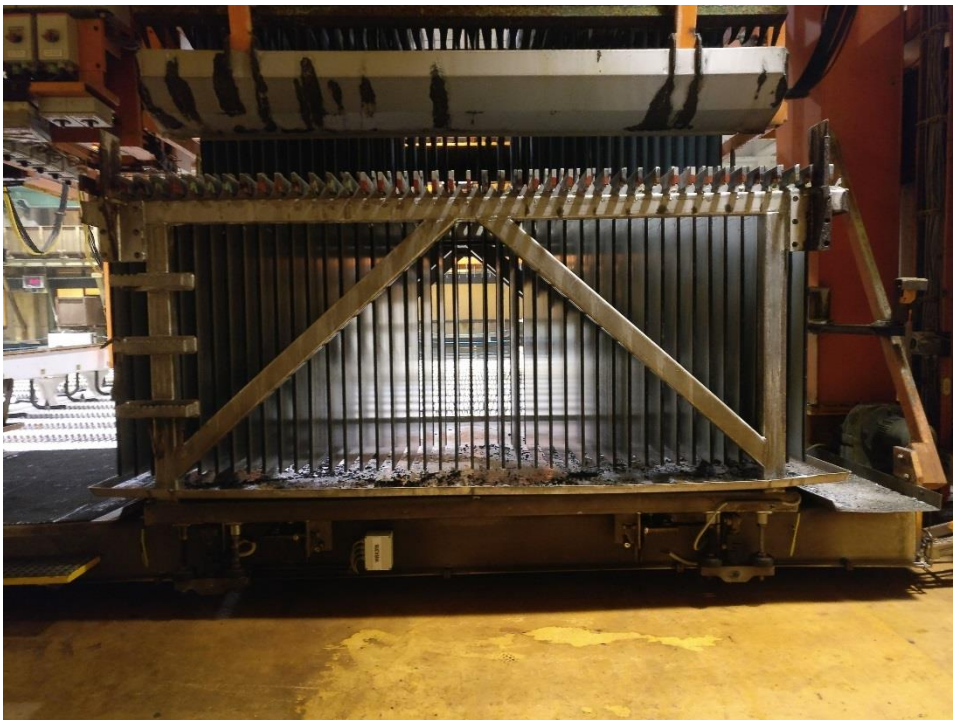
Saostuneet Zn-katodit irrotetaan katodilevyistä irrotuskoneilla. Irrotuskoneet, joita on elektrolyysihallissa 6 kappaletta ovat ryhmiteltyinä kahden pareihin. Katodilevy koostuu tangosta, jonka toisessa päässä on kontaktipinta, joka asettuu virtakiskoa vasten, sekä alumiinilevystä, jonka pintaan sinkki sakkautuu.

4.1 Vioittuneiden katodien poistaminen prosessista tällä hetkellä

Nykytilanteessa vioittuneiden katodien poistaminen tapahtuu pääasiassa rivillä puolipukkinosturissa, johon siirtovaunu tuo katodit irrotuskoneelta. Allasrivinhoitaja arvioi alumiinikatodien kunnon silmämääräisesti ja tarvittaessa poistaa heikkokuntoiset ja vaurioituneet katodit. Silmämääräisestä arvioinnista huolimatta altaisiin pääsee huonokuntoisia levyjä mm. koska hallin

valaistusolosuhteet ovat paikoin heikot ja tämän vuoksi vikojen havaitseminen voi olla haastavaa. Lisäksi allasravinhoitajilla on muitakin tehtäviä jotka vaativat jatkuvaa huomiota. Tästä johtuen kierrossa on katodeja, jotka eivät ole kunnoltaan optimaalisia sinkin kasvun kannalta.

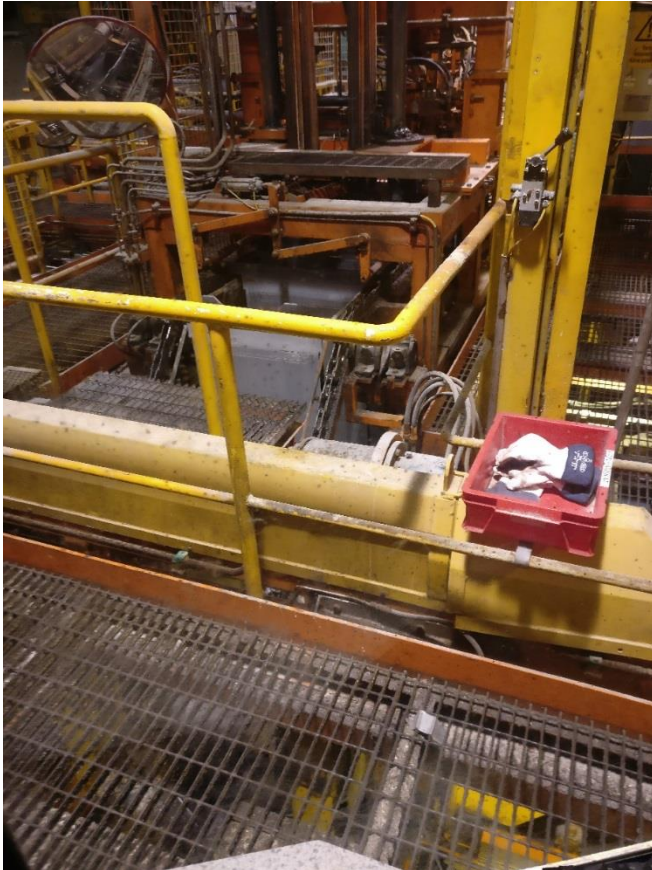
Vikojen syntymissyitä on useita, mutta useimmiten vioittuneet katodit ovat hitsausseamastaan vioittuneita, taipuneita tai syöpyneitä katodeja, jotka vaikuttavat heikentävästi energian kulutukseen, virtahyötysuhteeseen ja tuotannon määrään. Kuvassa 5 on puolipukkinosturi, johon siirtovaunu tuo altaaseen laskettavat katodilevyt irrotuskoneelta. Tässä tilanteessa allasravinhoitajat tarkistavat katodilevyjen kunnon ja tarvittaessa käsin poistavat huonokuntoiset katodilevyt, ennen kuin puolipukkinosturi ajaa tyhjät katodilevyt altaalle.



KUVA 5. Siirtovaunun laskemat alumiinikatodit puolipukkinosturissa

Irrotuskoneella vioittuneiden katodien havaitseminen on hankalaa valvomon sijainnin ja irrotuskoneen kiinteiden rakenteiden aiheuttamien näköesteiden vuoksi. Irrotuskoneella katodin hylkäyksen syynä on suurimmaksi osaksi levyn kuluminen (reikä liuospiinnassa) tai hitsausseaman pettäminen. Kokenut allasravinhoitaja havaitsee pienemmätkin viat ja taipumat katodien tangoissa,

mutta valvomossa työskenneltäessä huomioita vaatii niin moni muukin prosessin osa-alue, että vioittuneita levyjä pääsee läpi palautuskuljettimen kautta puolipukkinosturille. Puolipukkinosturilla allasrivinhoitaja aiemmin kuvatun mukaisesti poistaa havaitsemansa vialliset katodilevyt. Kuvassa 6 on näkymä valvomosta irrotuskoneelle.



KUVA 6 Näkymä valvomokopista irrotuskoneelle

4.2 Vioittumisen syyt

Alumiinikatodien vioittumista aiheuttaa useat eri tekijät. Osa vioista syntyy itsenäisessä prosessissa esimerkiksi koneviasta johtuen ja osa syntyy prosessin erityispiirteiden vaikutuksesta yhdessä ja erikseen. Irrotuskoneella vioittumista voi aiheuttaa mm. kiinnitarttunut sinkki (giljotiini lyö levyn kiereen), liuosnastastaan syöpynyt alumiinikatodi (avaus hajottaa levyn). Harjakoneen konevat aiheuttavat jonkin verran taipuneita katodeja. Yleensä harjakoneen aiheuttamat taipumat ovat joko levyn alareunassa tai levy on taipunut suhteessa tankoon.

Taipuneista katodeista osa syntyy liuoksen ja irrotusprosessin ominaispiirteiden johdosta. Katodiin muodostuu altaassa selkeästi tunnistettava kohta, eli liuos-pinta, joka erottuu selkeästi levyn yläosassa. Irrotusprosessin ensimmäinen vaihe ”pisto” käsittelee juuri tätä kohtaa. Kun pisto pureutuu alumiinin pintaan ja aiheuttaa pinnan rikkoutumisen, on rikkihappoliuoksen vaikutuksen alaisena aiempaa suurempi pinta-ala alumiinia, mikä osaltaan vaikuttaa levyn haurastumiseen tästä kohdasta. Katodilevy haurastuu liuos-pinnan kohdalta, mikä voi johtaa katodilevyn hajoamiseen irrotusprosessissa. Tämä aiheuttaa lisätyötä ja viivästyksiä, jolloin ei pysytä tavoitekasvuajoissa, ja samalla huononee myös muut prosessin tehokkuudesta kertovat mittarit.

Insinööriyöhöni liittyvä koeosuus rajataan koskemaan vain taipuneita alumiinikatodeja. Kokeen tuloksien analysoinnin pohjalta tehtävät johtopäätökset ja mahdolliset ehdotukset vioittuneiden katodien poistamiseksi pätevät osittain myös muilla tavoin vioittuneiden katodien poistamiseen.

4.3 Kokeen suunnittelu, raja- ja tavoite

Kokeen tavoitteena on selvittää, mikä merkitys taipuneilla alumiinikatodeilla on sinkin kasvuolosuhteisiin elektrolyysissä. Oletuksena on, että taipuneet katodit aiheuttavat virtahyötysuhteen laskua ja tuotantomienetyksiä saadun sinkin määrän vähenemisenä. Kokeiden avulla tutkitaan, millä tavoin taipuneet alumiinikatodit vaikuttavat mm. anodien kulumiseen ja liuoksen lämpötilaan ja sitä kautta käytetyn energian hyödyntämiseen elektrolyysin lopputuotteessa eli katodisinkissä. Prosessissa kiertää 36 960 katodia, joista tiedetään osan olevan viallisia. Mikäli kokeet osoittavat merkittäviä muutoksia tavoitelluista prosessin tehokkuuden mittareista, selvitetään, millä tavoin taipuneet katodit voidaan poistaa prosessista ja nostaa virtahyötysuhdetta sekä vähentää näistä aiheutuvia tuotantomienetyksiä.

Koeriviparin haluttiin edustavan mahdollisimman hyvin hallin olosuhteita. Koeriviparin valinnassa huomioitiin riviparin anodinvaihto-aika, allashuolto-aika sekä kokemusperäinen tieto eri riviparien kunnosta ja ominaisuuksista. Koerivipariksi valikoitui rivipari hallin keskiosista, joka on osoittautunut olemaan ominaisuuksiltaan keskimääräinen. Koe kestää yhden irrotuskierron eli 36h, ja se

toistetaan kolme kertaa. Kokonaisuudessaan koeosuuden kesto on 108 tuntia. Kokeen tuloksien dokumentointia varten tehtiin mittauspöytäkirjat (liite 1) sekä hankittiin tarvittavat mittalaitteet ja muut välineet.

Työn yhtenä tarkoituksena oli myös pohtia tapoja poistaa vioittuneet, prosessiin heikentävästi vaikuttavat, katodit kierrosta. Tämän pohdinnan tukena käytettiin Niko Heinolan opinnäytetyötä Katodien paksuuden mittaus sinkin irrotuskoneella. Niko Heinola selvitti työssään, minkälaiset anturit sopivat parhaiten katodin paksuuden mittaamiseen, ja valitsi tutkimuksiensa pohjalta toimivimman ratkaisun. Heinola havaitsi vallitseviin olosuhteisiin parhaiten sopivimmaksi laseranturit. Laseranturit eivät häiriinny höyryistä, mutta pöly ja sumu voivat häiritä mittausta. (6.)

4.4 Menetelmät ja välineet

Koetta varten etsittiin kierrossa olevista katodeista kokeen tarkoituksiin sopivia katodeja. Koekatodeja on yhteensä 12 kappaletta, joista kaksi on eri tavoilla taipuneita ja muut ominaisuuksiltaan keskimääräiset katodit toimivat kokeessa referenssinä taipuneille katodeille. Kaksi taipunutta katodia ovat keskenään erilaiset niin, että katodissa järjestysnumeroltaan 5 on suurempi taipuma (iso vika) ja katodissa järjestysnumeroltaan 8 on pienempi (pikku vika). Taipumaeron avulla pyritään selvittämään, onko taipuman etäisyydellä keskilinjasta väliä vai aiheuttaako taipuma suuruudestaan huolimatta saman tuloksen.

Ennen kokeen aloitusta mitattiin jokaisen kokeeseen tulevan katodin paksuus ja ominaisvastus yleismittarilla. Ominaisvastuksen selvittämiseksi varmistettiin levyjen sopivuus kokeeseen. Kaikkien levyjen ominaisvastukset olivat likimäärin samat, joten niiden voitiin olettaa käyttäytyvän virtapiirin osina samalla tavalla.

Koekatodit merkitään numeroimalla jokaisen koekatodin tanko juoksevilla numeroinnilla 1 - 12. Lisäksi jokaisen katodin korvaan porataan reikä, jonka läpi pujotetaan rautalanka. Näiden avulla koekatodit tunnistetaan irrotusvaiheessa, jotta ne saadaan erilleen muista katodeista.

Koekatodit asetellaan altaisiin kolmen ryppäissä niin, että kolme tavallista katodia ovat lähempänä altaan syöttöputkea ja kolme, joista keskimääräinen on taipunut,

ovat lähempänä altaan ylivuotoputkea. Viereiseen altaaseen sijoitetaan loput kuusi koekatodia samalla tavalla. Kuvassa 7 on esitettyä koekatodien sijoittuminen altaisiin koeriviparilla.



KUVA 7. Koekatodien sijoittuminen koealtaisiin

Kokeessa suoritetaan mittauksia kasvuaikana ja tutkitaan katodisinkin ominaisuuksia silmämääräisesti irrotuksen jälkeen. Kokeen aikana kirjataan ylös virtakiskon lämpötila ja paluuliuoksen lämpötila kuuden tunnin välein. Ensimmäisen kokeen loputtua koekatodit kerätään sivuun, sinkki irrotetaan käsin ja merkitään, minkä jälkeen koekatodit sijoitetaan samoille paikoille koealtaisiin. Samat toimenpiteet toistetaan jokaisen kokeen lopussa. Viimeisen kokeen jälkeen koekatodit vapautetaan normaaliin kiertoon, mikäli ne kunnoltaan ovat siihen sopivia.

Katodisinkin ominaisuuksia, kuten dendriittikasvua ja sinkin kiinnittymistä arvioidaan silmämääräisesti ja katodisinkit punnitaan katodikohtaisesti hallista

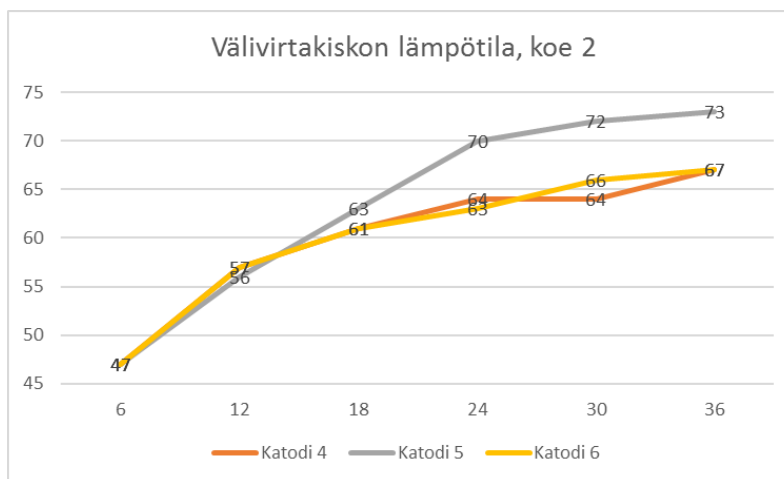
löytyvällä tehtävään sopivalla vaa'alla. Liitteessä 1 on kokeessa käytetyt mittauspöytäkirjat, joihin saadut mittaustulokset kirjattiin kokeiden kuluessa.

5 KOKEEN TULOKSET

Kokeen kestoksi arvioitiin tavoitekasvuajan mukaan 3*36 tuntia, yhteensä 108 tuntia, mutta todellisuudessa koeosuuden kesto oli 42+42+41 tuntia eli yhteensä 125 tuntia konerikkojen aiheuttamien viivästyksien vuoksi. Jokaisen kolmen kokeen kasvu aika oli 6 - 7 tuntia tavoiteaika pidempi. Irrotusvälin kasvaminen johtui konerikoista kuten sähkövivoista, sylinterivivoista siirtovaunussa, pistoyksikön vivoista ynnä muista tyypillisimmistä vikatyypeistä. Tämän tyyppisiä vikoja korjataan jatkuvasti, sillä käyttölaitteisiin liittyy paljon automatiikkaa ja esimerkiksi sähkövian paikantaminen voi viedä useita tunteja.

5.1 Virtakiskon lämpötila

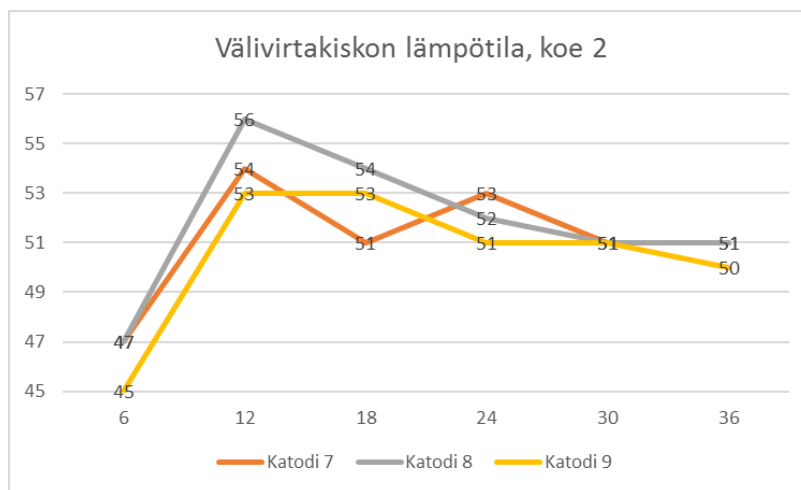
Virtakiskon lämpötilaa mitattiin käsivaralla lasermittarilla kuuden tunnin välein altaiden väliseltä kiskolta. Mittaukset osoittivat heti eroja virtakiskon lämpötilojen välillä ison ja pikku vian välillä. 2. kokeessa ison vian (kuva 8) kohdalla virtakiskon lämpötila jatkaa nousuaan aina kasvuajan loppuun saakka. Katodit 4 ja 6 ovat referenssikatodeja, ja katodi 5, jossa on suurempi taipuma, erottuu selvästi ympäröivistä referenssikatodeista. Katodin 5 kohdalla virtakiskon lämpötila on kasvun loppuvaiheessa 5 °C korkeampi kuin referenssikatodien kohdalla.



KUVA 8. Virtakiskon lämpötiloja 2. kokeessa

Kuvassa 9 esitetään viereiseltä altaalta mitatut virtakiskon lämpötilat. Kuvia 8 ja 9 vertaamalla huomataan, että lämpötilojen muutokset kasvun aikana ovat hyvin

erilaiset. Kuvan 9 osoittamat lämpötilan muutokset edustavat keskimääräistä tilannetta kuvan 8 tuloksia paremmin. Kasvun alkutunteina, kun katodin massa kasvaa minkä johdosta huonosti kontaktiin asettunut katodin kontakti asettuu paremmin virtakiskoa vasten ja osaksi virtapiiriä. Tämän johdosta virtakiskon lämpötila tässä kohdassa kääntyy laskuun. Välivirtakiskojen lämpötilan muutokset kasvun aikana ovat hyvin erilaiset, mutta silti myös kuvassa 9 on nähtävissä asteen ero koekatodin ja referenssikatodien (katodit 7 ja 9) välillä loppulämpötilassa. Näin ollen taipuman voidaan olettaa vaikuttavan välivirtakiskon lämpötilaan paikallisesti taipuneen katodin kohdalla.



KUVA 9. Virtakiskon lämpötiloja 2. kokeessa

Virtakiskon lämpötila nousee näiden kolmen kokeen perusteella taipumien johdosta. Virtakiskon lämpötilan nouseminen viittaa siihen, että prosessi ei toimi optimaalisesti juuri sillä kohdalla. Virtakiskon liiallinen lämpeneminen lämmittää myös prosessiliuoksia, mikä vaikuttaa negatiivisesti prosessiin. Korkeampi lämpötila aiheuttaa ongelmia etenkin kesäisin, sillä liuosjäähdytyksen kapasiteetti on rajallinen.

5.2 Sinkin ominaisuudet

Taipuneiden katodien vaikutus dendriittikasvuun voidaan kokeiden tulosten perusteella huomata paitsi taipuneissa katodeissa myös taipuneiden katodien viereisissä referenssikatodeissa. Lähes kaikissa koekatodeissa oli jokaisessa

toistetussa kokeessa jonkinlaista dendriittikasvua, mutta etenkin koekatodeissa oli paikoin korkeaa dendriittikasvua, joka sijoittui katodisinkin yläosaan lähelle liuospinnan rajaa. Kuvassa 10 on katodisinkin yläosassa olevaa dendriittikasvua.



KUVA 10. Katodisinkin yläosan dendriittikasvua

Liuostaskujen muodostuminen on tuottanut ongelmia, etenkin kun se yhdistyy sinkin huonoon kiinnittymiseen katodin pintaan. Näitä ongelmia on tehtaalla ratkottu keskittämällä resursseja katodilevyjen pinnan karheuden merkityksen selvittämiseen. Tässä kokeessa liuostaskuja ei esiintynyt ja sinkki oli pääosin hyvin kiinnittynyt katodin pintaan.

Anodikosketus ilmenee sinkin pinnassa olevana tummana sakkana. Liuoksen mukana kulkee aina pieniä määriä sakkaa ja sitä kerääntyy altaiden pohjalle ja anodien pinnalle. Anodien ja katodien välinen etäisyys altaassa on pieni ja taipumat edelleen pienentävät sitä mutta toisaalta myös kasvattavat johtuen taipuman aiheuttamasta muutoksesta katodilevyn sivuprofiilissa. Yleensä

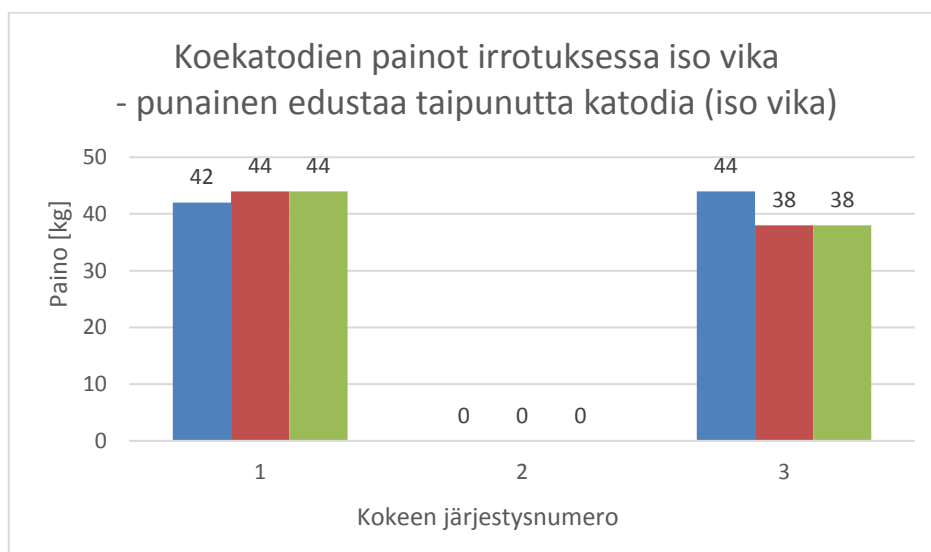
taipuma aiheuttaa katodin lähenemisen viereiseen anodiin levyn yläosassa ja vastaavasti vastakkaisen puolen läheneminen levyn alaosassa.

5.3 Eristinkosketus

Anodien eristimet vaikuttavat liuoksen kiertoon altaissa, ja lähes kaikissa levyissä oli havaittavissa eristimien kohdalla ohentumista ja joissakin tapauksissa jopa reikiä kyseisissä kohdissa. Reikien merkitystä liuostaskujen syntymisessä on pohdittu, mutta tämä koe ei osoittanut näiden asioiden välillä yhteyttä. Huomattavaa kuitenkin on, että nämä merkit löytyivät jokaisessa kokeessa, muutamia poikkeuksia lukuunottamatta, kaikista irrotetuista katodisinkeistä.

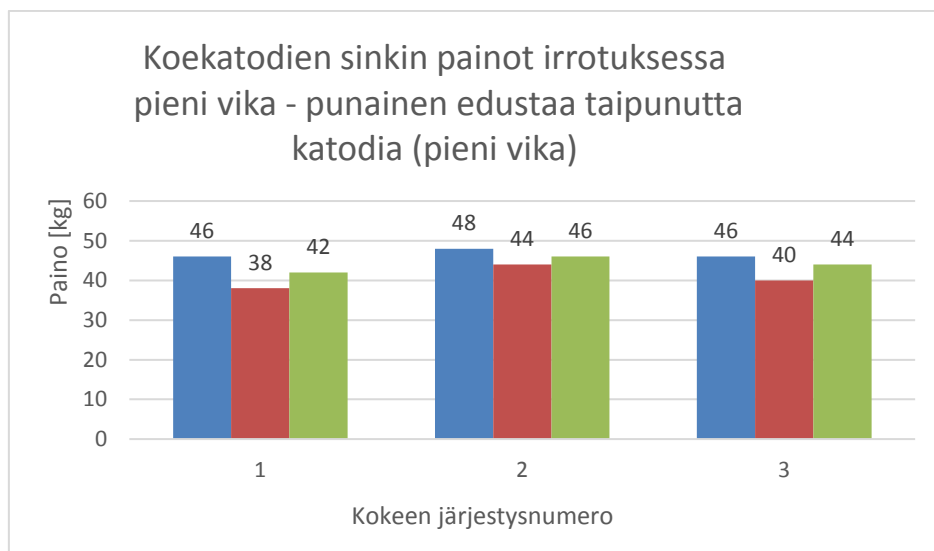
5.4 Sinkkien painot

Kuvassa 11 on jokaisen kolmen kokeen koekatodien ja niiden viereisten kahden referenssikatodin sinkkien punnitut painot. Koekatodien sinkkien painot on kuvassa 11 kuvattu punaisella ja referenssikatodien sinkkien painot ovat sinisellä ja vihreällä. Kuvasta voidaan nähdä myös, että kokeen toisen toiston sinkkejä ei ole punnittu. Syynä tähän on sekaannus siinä vaiheessa, kun sinkit ajettiin irrotuskoneen läpi erilleen muista katodeista. Jossakin vaiheessa keskittyminen herpaantui ja koekatodin sinkit pääsivät livahtamaan koneen läpi nippuun, mistä niitä on enää mahdoton tunnistaa.



KUVA 11. Ison taipuman vaikutus sinkin painoon irrotuksessa.

Kokeiden perusteella isomman taipuman osalta saadun sinkin paino ensimmäisessä kokeessa ei eroa referenssikatodeista. Kolmannessa kokeessa referenssikatodista ja koekatodista saadun sinkin painoero on 6 kg, mutta toiseen referenssikatodeista saostui saman verran sinkkiä kuin koekatodiin. Ensimmäisen ja kolmannen kokeen sinkkien painoero on suurehko, ja täsmää ensimmäisessä kokeessa saadun sinkin painoeroon. Tämän kokeen toistojen perusteella ei voi tulkita, kuinka suuri merkitys taipumalla on saadun sinkin määrään. Mikäli toisen kokeen sinkit olisi saatu punnittua, voisi tuloksista olla luettavissa selkeämpi trendi painojen suhteen. Kuvassa 12 nähdään, että pienemmän taipuman koekatodin painoissa on eroja referenssikatodeihin.



KUVA 12. Pienen taipuman vaikutus sinkin painoon irrotuksessa.

Koekatodien sinkkien painot on kuvassa 12 kuvattu punaisella ja referenssikatodien sinkkien painot ovat sinisellä ja vihreällä. Pienen taipuman koe- ja referenssikatodien välillä voi havaita selkeitä, joskin kilomääräisesti pienehköjä eroja. Ensimmäisessä kokeessa koekatodista saadun sinkin määrä on 8 kg pienempi kuin referenssikatodista, ja muissakin toistoissa saadun sinkin määrä jää pienemmäksi verrattuna ensimmäisen toiston eroihin. Alimmillaan koekatodista saadun sinkin paino oli ensimmäisessä kokeessa (38 kg), mutta näissäkin tuloksissa painoerot ovat melko pieniä, joten varmoja päätelmiä kokeen perusteella ei voi tehdä.

5.5 Virtahyötysuhde

Virtahyötysuhde oli tässä kokeessa odotettua parempi ja lähellä kokeiden ajankohtana toteutunutta kokonaishyötysuhdetta. Syitä virtahyötysuhteen melko korkealle tasolle pohdittiin yhdessä työni ohjaajan kanssa mutta syytä sille ei löydetty. Kokeiden virtahyötysuhde kokeen osalta oli 91 - 95 % (kaava 1).

5.6 Virhearviointi

Tarkoituksena oli, että vuorotyönjohtajat suorittaisivat mittauksia annettujen ohjeiden avulla, mutta mittausvirheen minimoimiseksi koin parhaaksi suorittaa mittaukset itse. Tämä tarkoitti pitkiä päiviä, sillä mittauksia tehtiin kuuden tunnin välein vuorokauden ympäri. Virheitä mittauksissa ja tulkinnoissa voi siis olla jonkin verran. Ensimmäisessä kokeessa pyrittiin poistamaan välivirtakiskoille mahdollisesti joutuneet sakat suihkuttamalla vettä kiskoille ja altaiden päälle, ja tästä syystä kiskojen lämpötilat ovat kahta muuta koetta pienemmät. Kokeen kuluessa havaittiin tämän haittaavan mittauksia. Osa mittauksista oli jo tehty tällä tavoin, joten koe suoritettiin loppuun samaa menetelmää käyttäen. Kokeen kannalta tämä ei ollut paras mahdollinen tapa, mutta ensimmäisen toiston tuloksista voidaan havaita, että jäähdyttämällä välivirtakiskoja säännöllisesti vedellä voidaan kiskojen lämpötilaa laskea ja näin myös mahdollisesti vaikuttaa altaiden olosuhteisiin sinkin kasvun kannalta myönteisesti.

Toisessa kokeessa nippuun kadonneet sinkit vaikuttavat tulosten analysointiin, mutta kadonneista sinkeistä huolimatta kokeen tuloksista voidaan tehdä päätelmiä siitä, miten taipuneet katodit vaikuttavat sinkin kasvuolosuhteisiin.

Kolmannen kokeen alussa yksi allasrivinhoitajista hakkasi huonon ohjeistuksen vuoksi pienemmän taipuman koekatodin suoraksi. Katodin käyttöä jatkettiin, koska taipuma ei suoristunut täysin.

6 YHTEENVETO

Insinööriyön tarkoituksena oli kokeellisesti havainnoida taipuneiden katodien vaikutuksia sinkin kasvuolosuhteisiin elektrolyysissä. Tulokset osoittavat taipuneiden katodien tuottavan kilomääräisesti vähemmän sinkkiä kuin referenssikatodit tuottavat. Virtahyötysuhde pysyi kokeissa odottamattoman korkealla, mutta yksiselitteistä syytä ei löydetty. Kokeiden lukumäärä opinnäytetyössä on rajattu hyvin pieneksi, joten yleisiä päätelmiä kokeiden tuloksien pohjalta ei voi tehdä. Tuloksien perusteella suosittelen suorittamaan laajempia kokeita tässä kokeessa havaittujen vaikutuksien laajuuden arvioimiseksi.

Koeosuuden kesto oli 17 tuntia odotettua pidempi konerikkojen vuoksi. Ennakkohuollon oikea-aikaisuudella ja selvittämällä toistuvien vikojen syitä voidaan vaikuttaa prosessin katkeamattomuuteen ja tehokkuuteen.

Kokeiden tuloksien perusteella kehottaisin kiinnittämään huomiota taipuneiden ja muilla tavoin vioittuneiden katodien määrään kierrossa. Tällä hetkellä vioittuneet katodit poistetaan pääosin käsin, mikä aiheuttaa ylimääräistä työtä ja voi lisätä työtatapaturmien riskiä. Vioittuneiden katodien koneellinen poisto olisi minusta paras keino päästä eroon prosessiin heikentävästi vaikuttavista katodilevyistä. Laserantureita käytetään irrotuskoneilla eri kohteissa ja ne ovat käyttövarmoja. Konenäköön perustuva erottelun ongelmaksi muodostuu hallin olosuhteet, jotka eivät ole suotuisat. Suosittelen laserantureihin perustuvan menetelmän testaamista ensin koeluontoisesti ja mikäli tulokset ovat positiivisia, suorittamaan koeajoja tuotannossa.

LÄHTEET

1. Euroopan toiseksi suurin sinkkitehdas. 2018. Boliden Kokkola. Saatavissa: <https://www.boliden.com/fi/operations/smelters/boliden-kokkola/>. Hakupäivä 13.5.2018.
2. Customer presentation 2017. Boliden Kokkola.
3. Vastuullisen metallituotannon edelläkävijä. Yleisesittely 2017. Boliden Kokkola.
4. Pynssi, Olli 2015. Anodinkunnostuslaitteiden nykytilan määrittäminen. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/88621/Pynssi_Olli.pdf?sequence=1. Hakupäivä 24.10.2017
5. Elektrolyysin käyttöasteen ja virtahyötysuhteen laskenta 2017. Boliden Kokkola. Sisäinen dokumentti. 31.1.2017.
6. Heinola, Niko 2014. Katodien paksuuden mittaaminen sinkin irrotuskoneella. Opinnäytetyö. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu, automaatiotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/76578/Heinola_Niko.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Haettu 23.10.2017

1. MITTAUSPÖYTÄKIRJA

LIITE 1

[illegible]

1. MITTAUSPÖYTÄKIRJA

LIITE 1

[illegible]

1. MITTAUSPÖYTÄKIRJA

LIITE 1

[illegible]